

# Factores que influyen en la selección del tipo de presa: Caso de estudio de la presa Tullpacancha de almacenamiento de agua para riego

## Factors influencing the selection of the type of dam: Case study of the Tullpacancha dam for irrigation water storage

Marioli Marced Casco Cacsire <sup>1,a</sup>, Pablo Rubén Meza Aréstegui <sup>1,b</sup>

Recibido: 27/12/2023 - Aprobado: 21/02/2024 – Publicado: 12/06/2024

### RESUMEN

La presente investigación analiza los factores que influyen en la selección del tipo de presa para el emplazamiento de la presa Tullpacancha. Se realizó la evaluación de diversos aspectos, incluyendo la topografía, la morfología del sitio de cierre, la relevancia de las pendientes de las laderas y la geología de la zona de estudio, entre otros. La cimentación de la presa se estableció sobre roca poco fracturada, con una capacidad de carga de 11 Kg/cm<sup>2</sup> a una profundidad de 16 metros y 29 Kg/cm<sup>2</sup> a una profundidad de 40 metros. Se recomendó mejorar la cimentación mediante inyecciones de cemento. Los materiales de construcción cumplen con las propiedades requeridas y el volumen necesario, siendo apropiados al encontrarse a menos de 1 km del sitio de fundación.

La altura de la presa está proyectada en 63 metros, para lo cual se recomienda la construcción de presas tipo CFRD. Se realizó un análisis de estabilidad de taludes, estimando los factores de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas para la presa finalizada y con el embalse lleno. Los resultados obtenidos indican que la estructura es estable para un diseño de presa tipo CFRD. Tras la evaluación y análisis de los diversos factores, se concluyó en la selección de una presa tipo CFRD.

**Palabras claves:** emplazamiento, Factores de selección, Presas tipo CFRD, Tipología de presa, Tullpacancha.

### ABSTRACT

This research analyzes the factors that influence the selection of the type of dam for the Tullpacancha dam site. The evaluation of various factors such as topography, morphology of the closure site, relevance of the slopes of the hillsides, geology of the study area, among others, was carried out. The dam foundation will be on slightly fractured rock, with a load capacity of 11 kg/cm<sup>2</sup> at 16 meters, and 29 kg/cm<sup>2</sup> at a depth of 40 meters; it was recommended that the foundation be improved by means of cement injections. The construction materials meet the required properties and the required volume, being appropriate since they are less than 1 km from the foundation site.

The height of the dam is projected for 63 meters, for this height the construction of CFRD type dams is recommended. The slope stability analysis was carried out, estimating the safety factors in static and pseudo-static conditions for the dam once its construction is completed and the reservoir is full; with the results obtained, the structure is stable for a CFRD type dam design. After its evaluation and analysis of the different factors, the result was the selection of a CFRD type dam.

**Keywords:** site, Selection factors, CFRD type dams, Dam typology, Tullpacancha.

<sup>1</sup> Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Arequipa, Perú.

a E-mail: [mcasco@unsa.edu.pe](mailto:mcasco@unsa.edu.pe) - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0875-372>

b E-mail: [pmezaa@unsa.edu.pe](mailto:pmezaa@unsa.edu.pe) - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7730-0114>

## I. INTRODUCCIÓN

Las presas son una barrera fabricada de piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río o arroyo para almacenar agua en el cauce fluvial (Velásquez, 2020). Son vitales para la civilización actual, ya que el agua es esencial para todas las actividades humanas. Sin embargo, debido a la gran cantidad de agua que pueden contener, también poseen un gran potencial destructivo. Por ello, la elección del tipo de presa debe ser cuidadosa y adecuada, considerando una serie de criterios (Birhanu & Tesfa, 2023).

Diversos factores influyen en el proceso de selección del tipo de presa, como la topografía, las características geológicas y geotécnicas del emplazamiento, las condiciones climáticas e hidrológicas, la accesibilidad y disponibilidad de los materiales de construcción, la altura de la presa, la viabilidad económica, la duración de la construcción y la sismicidad de la región (Emiroglu, 2008). En algunos casos, los diferentes tipos de presas presentan ventajas para ciertos criterios y desventajas para otros; por lo tanto, es importante considerar los beneficios e inconvenientes de cada uno para justificar la selección del tipo de presa (Martínez, 2019).

La presente investigación tiene como objetivo identificar los factores para la selección de la tipología de la presa Tullpacancha, ubicada en Huancavelica, Perú. La zona se caracteriza por la elevada escasez de agua para riego, por lo que es necesario almacenar, conducir y distribuir adecuadamente el recurso hídrico. A continuación, se presentan los 4 principales factores desarrollados y, en función de ellos, se opta por el tipo de presa que mejor se adapta a la zona de estudio.

1. La topografía de la cuenca es uno de los factores principales para la selección del tipo de presa. "Las cuencas hidrográficas, por su configuración geométrica, su morfología topográfica y su diversificación climática, definen un alto grado de eficiencia hidráulica" (Carrera, 2022). Esto incluye la configuración topográfica superficial del emplazamiento de la presa, la zona del embalse y la accesibilidad a los materiales de construcción. Para la construcción de una presa CFRD, las características favorables incluyen una topografía en forma de V y un sitio casi simétrico o asimétrico (Emiroglu, 2008).
2. La investigación geológica y geotécnica para la selección del sitio de la presa tiene como objetivo evaluar detalladamente las estructuras geológicas, el espesor de los estratos que soportará el peso de la presa, la inclinación, la permeabilidad y la relación con los estratos subyacentes, las fallas existentes y las fisuras (Sissakian et al., 2020). Cualquier tipo de presa puede construirse sobre una base de roca resistente y de baja permeabilidad, aunque puede resultar más ventajosa una presa CFRD o RCC. Con frecuencia, es esencial eliminar la roca desintegrada y sellar con inyecciones de cemento las juntas y grietas.

3. Los materiales de construcción deben cumplir con las propiedades geotécnicas requeridas, además de estar disponibles, ser accesibles y estar cerca del lugar del emplazamiento, ya que a mayor distancia, el costo se eleva y podría ser necesario optar por construir otro tipo de presa (Noa, 2006; Martínez, 2019; Emiroglu, 2008).
4. La altura de la presa es una consideración importante a la hora de decidir el tipo de presa (Martínez Ruiz, 2019). A continuación, se indican los distintos tipos de presas y sus alturas óptimas:

- Presa de tierra homogénea: menos de 5 m
- Relleno de tierra con dren: menos de 10 m
- Presa de tierra zonificada: menos de 20 m
- Presa de tierra con dren horizontal: menos de 10 m
- Presa de tierra con drenaje vertical y horizontal: menos de 50 m
- Presa de escollera con núcleo central: entre 15 y 20 m
- Presa de tierra con espaldones de arenas y gravas y núcleo central: menos de 140 m
- Presa de escollera con núcleo inclinado: entre 15 y 20 m
- Presa de escollera con pantalla de hormigón (CFRD): más de 20 m

La principal ventaja del CFRD es que no hay posibilidad de erosión interna del núcleo impermeable. Las presas CFRD tienen la ventaja sobre la presa de arco, ya que no requieren fuertes pilares de roca de alta resistencia y dependen de la gravedad para su estabilidad. Todos estos elementos contribuyen a la conclusión de que el CFRD debería tenerse en cuenta como un diseño factible para presas de gran altura (Sherard & Cooke, 1987).

## II. MÉTODOS

El tipo de investigación, de acuerdo al fin que persigue, es aplicado, con un diseño de investigación no experimental. La unidad de investigación está determinada por el área de fundación donde se emplaza la presa Tullpacancha. Para determinar el tamaño de la muestra, se empleó el método no probabilístico, utilizando el muestreo por conveniencia.

Para alcanzar los objetivos del presente estudio, se sigue una metodología de recolección de datos en campo, seguida de un tratamiento y análisis de resultados, y finalmente la discusión y conclusiones (Esteban, 2022).

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra políticamente ubicada en el distrito de Churcampa, provincia de Churcampa, departamento de Huancavelica, en la cuenca Pucayaco. Geográficamente, está situada en la zona 18 Sur, dentro de las coordenadas UTM 561276 m E, 8601033 m N, con una elevación de 3872 m s.n.m.

### 3.2. Topografía

La topografía de la zona de estudio es un valle en forma de V, con pendientes moderadamente fuertes (Figura 1).

### 3.3. Geología

La geología de la zona de estudio se presenta superficialmente cubierta por material cuaternario. A través de perforaciones diamantinas de pozos, se obtienen testigos de perforación y se lleva a cabo la correlación en el eje propuesto de la presa (ver Figura 2). Como resultado, se identifica el contacto de tres formaciones geológicas. Hacia la margen izquierda se evidencia la presencia del Grupo Tarma, y hacia la margen derecha se observa el Grupo Copacabana, además del Miembro Tingrayoc de la Formación Huanta. También se identifican depósitos cuaternarios que cubren la zona de embalse.

El Grupo Tarma se caracteriza por intercalaciones de calizas y lutitas, mientras que el Grupo Copacabana se presenta como una secuencia de calizas y limoarcillitas. Por otro lado, el Miembro Tingrayoc de la Formación Huanta se compone de intercalaciones de conglomerados, areniscas y limoarcillitas. En consecuencia, la presa se emplaza sobre rocas sedimentarias.

La cimentación para el emplazamiento de la presa será de naturaleza rocosa, como se observa en la Figura 2. Se aprecia la existencia de una cubierta de suelos de aproximadamente 5 m de espesor. Desde los 5 m hasta los 30 m de profundidad, se encuentra roca parcialmente fracturada, relacionada con conglomerados y areniscas. A partir de los 30 m de profundidad, la calidad del macizo rocoso mejora, considerándose de buena calidad.

Se realizaron tres sondajes a lo largo del eje de la presa, ubicados por debajo de la proyección del nivel de aguas máximas ordinarias (3928 m s.n.m.). Los ensayos de

resistencia a la compresión uniaxial se llevaron a cabo en muestras tomadas de los sondajes ejecutados a diferentes profundidades en el laboratorio Ingeniería Geotécnica P&A.

La determinación de la capacidad de carga de la roca de cimentación para el centro del eje de presa, estribo derecho y estribo izquierdo, se determina de acuerdo a los criterios del Manual de la Sociedad Canadiense de Geotecnia, que aplica la siguiente expresión:

$$qd = K \cdot Rc$$

Donde:

- $qd$ : Presión de contacto en roca permisible, en Kg/cm<sup>2</sup>
- $K$  = Coeficiente adimensional que depende del espaciamiento de las discontinuidades, espesor de las discontinuidades.

$$K = \frac{3 + C/B}{10\sqrt{1 + 300\delta/C}}$$

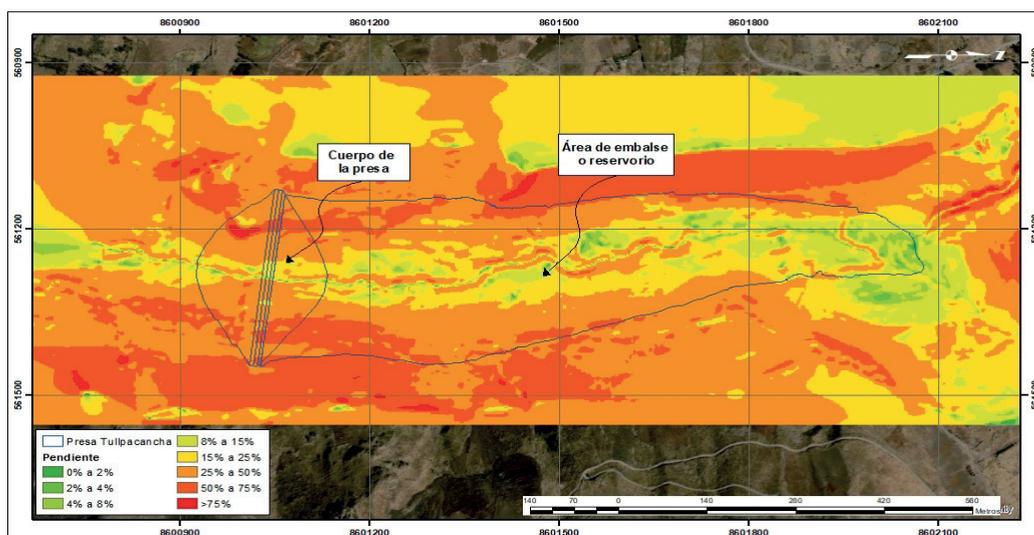
- $Rc$  = Resistencia a la compresión en Kg/cm<sup>2</sup>
- $C$  = Espaciamiento de las discontinuidades (0.3m)
- $B$  = Ancho de cimentación (145 m)
- $\delta$  = Espesor de las discontinuidades (3mm)

Efectuando los cálculos con los datos mencionados,  $K$  resulta igual a 0.949 ~0.1.

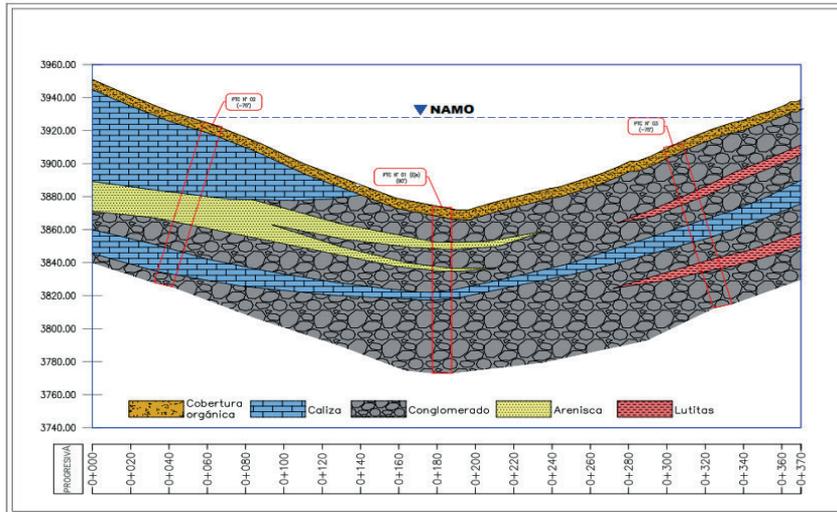
La capacidad de carga de la cimentación rocosa (Tabla 2), tiene como resultado una capacidad baja los primeros metros, debido a la presencia de rocas fracturadas, se recomienda el mejoramiento geotécnico de la cimentación por medio de inyecciones de cemento hasta una profundidad de 30 metros.

Figura 1

Mapa de pendientes de la zona de estudio



**Figura 2**  
Perfil estratigráfico transversal a la cuenca, eje de presa propuesto



**Tabla 1**  
Resultado de ensayos de resistencia de las muestras de sondajes

Sondaje	Profundidad (m)	Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ángulo de fricción (°)	Resistencia Compresión Uniaxial (Kg/cm <sup>2</sup> )
Punto central del eje de presa	6.00	0.87	22.5	112.84
Punto central del eje de presa	14.70	0.91	23.0	118.82
Punto central del eje de presa	40.60	1.07	24.4	250.58
Punto central del eje de presa	43.80	0.95	23.5	298.01
Estribo derecho	13.20	1.48	27.5	520.56
Estribo izquierdo	14.20	1.51	28.0	486.87

Nota: Se aplica el ensayo de corte directo y ensayo de resistencia a la compresión uniaxial. Resultados del laboratorio de mecánica de suelos Ingeniería Geotécnica P&A.

**Tabla 2**  
Capacidad de carga de muestras de la cimentación a diferentes profundidades

Sondaje	Profundidad (m)	Capacidad de carga (Kg/cm <sup>2</sup> )
Punto central del eje de presa	6.00	11.284
Punto central del eje de presa	14.70	11.882
Punto central del eje de presa	40.60	25.058
Punto central del eje de presa	43.80	29.010
Estribo derecho	13.20	52.056
Estribo izquierdo	14.20	48.687

Nota: Sondajes se refiere a cada punto de perforación diamantina de pozos, se realizó tres puntos de perforación, correspondientes al eje de presa, siendo el punto central de eje de presa, estribo derecho y estribo izquierdo

### 3.4. Material de construcción

En el área de estudio se identificaron canteras de diferente naturaleza para las secciones de la presa tipo CFRD, como se observa en la Figura 3, que cumplen con las propiedades necesarias para el uso que se les dará (Tabla 3). En la Tabla 4 se muestra el volumen total de cada cantera, abasteciendo el volumen requerido.

### 3.5. Altura de presa

La altura proyectada para la presa Tullpacancha es de 63.8 m, en base a los requerimientos hídricos y las condiciones del terreno. Según las fuentes consultadas (Sherard & Cooke, 1987; Cooke & Sherard, 1987; Fell et al., 2015), para esta altura se recomienda la construcción de una presa tipo CFRD o una presa de tierra con espaldones de

arenas y gravas y núcleo central. Sin embargo, debido a la disponibilidad limitada de canteras con el volumen requerido de tierra, arena y gravas, se descarta la segunda opción.

**3.6. Estabilidad de taludes**

Con los parámetros antes descritos se realiza la estimación del factor de seguridad estático y pseudoestático mediante el análisis determinístico de estabilidades de talud, utilizando el software Slide 6.0, el efecto sísmico se considera como fuerzas aplicadas en el centro de gravedad de la estructura, obtenido a partir de la aceleración sísmica, de acuerdo al mapa de zonificación sísmica del Perú (Norma E-030), para la zona de estudio se considera lo siguiente:

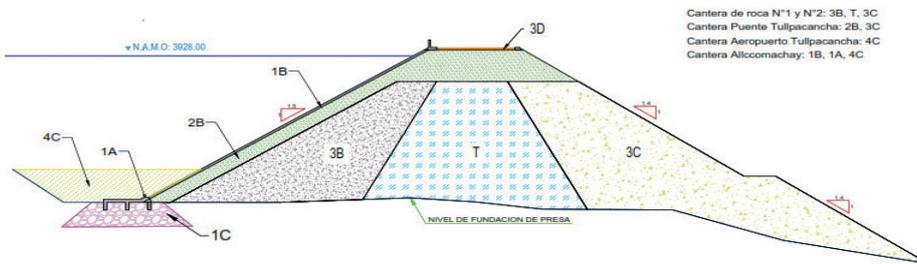
- Coeficiente sísmico horizontal (KH)= 0.5aC = 0.125g
- Coeficiente sísmico vertical (KV)= 2/3KH = 0.083g

Para el desarrollo del presente análisis se utilizaron los siguientes parámetros, de acuerdo a los resultados de laboratorio de las muestras extraídas de las canteras y sondajes (Tabla 5).

Como se aprecia en las figuras 4 y 5, el análisis se realiza por diferentes métodos y en condiciones estáticas y pseudoestáticas, finalizada la construcción (embalse vacío) y con embalse lleno para los taludes aguas arriba y aguas abajo. A continuación, se presentan las tablas 6 y 7 con el resumen de resultados del análisis.

Según los cálculos realizados mediante diferentes métodos, se ha determinado que los factores de seguridad obtenidos superan los mínimos requeridos. Esta situación se considera adecuada para el tipo de presa recomendado, que en este caso es una presa tipo CFRD.

**Figura 3**  
Sección típica preliminar de presa tipo CFRD y materiales de cantera



**Tabla 3**  
Uso de canteras según la zonificación de la presa CFRD

Cantera	Zona	Uso
Cantera de roca N.º1 y N.º 2	3B, T y 3C	Enrocado y transición
Cantera Puente Tullpacancha	2B y 3D	Soporte de losa de concreto y afirmado
Cantera Aeropuerto Tullpacancha	1C	Relleno de arcilla compactado en zona del plinto
Cantera Allcomachay	1B, 1A y 4C	Losa de concreto

Nota: Las denominaciones que se especifican en la Comuna Zona, se refieren a las diferentes secciones de la zonificación de la presa CFRD, que se puede apreciar en la Figura 3

**Tabla 4**  
Volúmenes de las canteras y distancias al sitio de emplazamiento

Cantera	Distancia a la presa	Volumen total	Volumen requerido
Cantera de roca N.º1 y N.º2	± 330 m	1,090,472.08 m³	802,578.75 m³
Cantera Puente Tullpacancha	±500 m	69,722.53 m³	66,984.75 m³
Cantera Aeropuerto Tullpacancha	±6.5 Km	42,161.54 m³	40,350.89 m³
Cantera Allcomachay	±52 Km	39,364.08 m³	35,568.69 m³

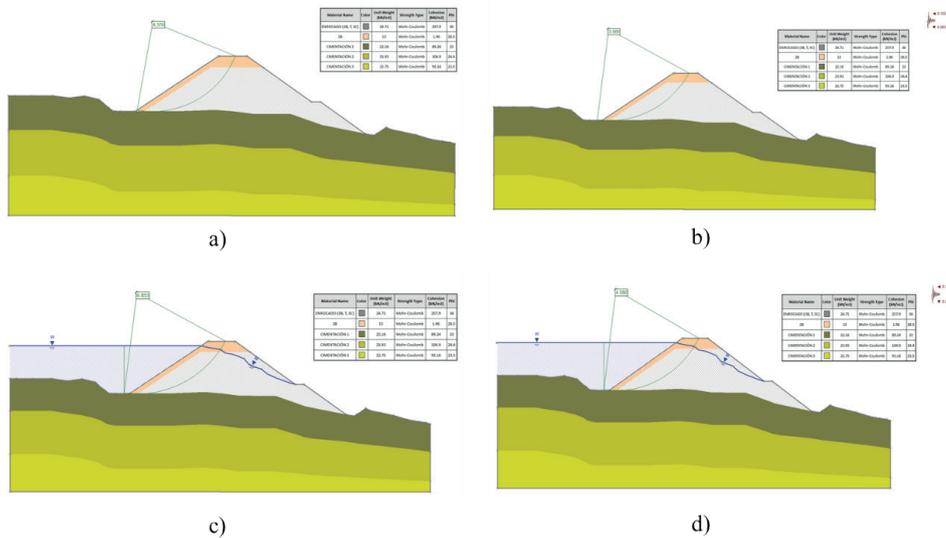
Nota: Se puede apreciar que el volumen total es mayor que el volumen requerido, lo que significa que las canteras abastecen y garantizan la construcción del cuerpo de presa

**Tabla 5**  
Parámetros geotécnicos para análisis de estabilidad de taludes

Denominación	Muestra	Peso unitario (KN/m <sup>3</sup> )	Cohesión (KPa)	Ángulo Fricción (°)
Enrocado (3B, T, 3C)	Canteras de roca N.° 1 y N.°2	24.71	10.00	36.00
Pantalla de concreto	Cantera Allcomachay	25.11	128.47	25.00
Zona 2B	Cantera Puente Tullpacancha	15.00	1.96	28.50
Cimentación 1	Conglomerado (15.00 m)	22.16	89.24	23.00
Cimentación 2	Arenisca (40.60 m)	23.93	104.90	24.40
Cimentación 3	Conglomerado (43.80 m)	22.75	93.16	23.50

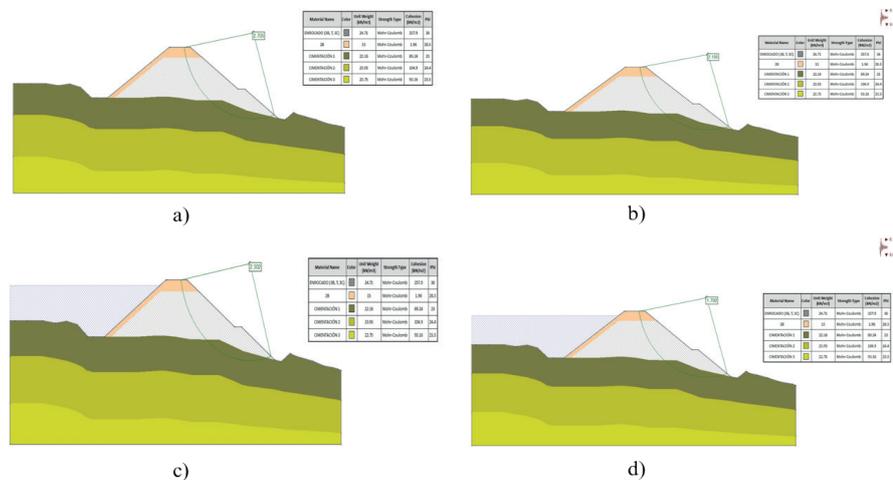
Nota: Se toman los resultados de diversos ensayos efectuados a las muestras en el laboratorio de mecánica de suelos. Fuente: Resultados del laboratorio Ingeniería Geotécnica P&A.

**Figura 4**  
Factores de seguridad para talud aguas arriba.



a) Factor de seguridad finalizada la construcción en condición estática, b) Factor de seguridad finalizada la construcción en condición pseudoestática, c) Factor de seguridad con embalse lleno en condición estática, d) Factor de seguridad con embalse lleno en condición pseudoestática

**Figura 5**  
Factores de seguridad para talud aguas abajo.



a) Factor de seguridad finalizada la construcción en condición estática, b) Factor de seguridad finalizada la construcción en condición pseudoestática, c) Factor de seguridad con embalse lleno en condición estática, d) Factor de seguridad con embalse lleno en condición pseudoestática

**Tabla 6**

Resumen de los factores de seguridad para talud aguas arriba

Método	Fin de construcción		Embalse lleno	
	FS estático	FS pseudoestático	FS estático	FS pseudoestático
Bishop simplificado	1.826	1.451	1.742	1.215
Janbú corregido	1.748	1.363	1.711	1.163
Spencer	1.791	1.421	1.736	1.219
Morgenstem y price	1.796	1.425	1.738	1.225

Nota: Para la estimación de los factores de seguridad estáticos no se considera coeficiente sísmico y para los factores de seguridad pseudoestáticos sí se considera coeficiente sísmico

**Tabla 7**

Resumen de los factores de seguridad para talud aguas abajo

Método	Fin de construcción		Embalse lleno	
	FS estático	FS pseudoestático	FS estático	FS pseudoestático
Bishop simplificado	1.796	1.425	1.417	1.130
Janbú corregido	1.664	1.295	1.316	1.031
Spencer	1.745	1.381	1.375	1.096
Morgenstem y price	1.745	1.380	1.372	1.092

Nota: El análisis se realiza por diferentes métodos de evaluación, además se considera el análisis al finalizar la construcción de la presa y con embalse lleno.

## IV. DISCUSIÓN

La presa Tullpacancha se propone con el fin de abastecer agua para riego agrícola, y será una presa no vertedora. Considerando el cierre del vaso, el mismo vaso y las condiciones geológicas de la zona, se determina que el material del cuerpo de la presa debe ser suelto o flexible, lo que sugiere una presa de tierra o enrocado. Sin embargo, los resultados obtenidos previamente indican que la presa será del tipo CFRD (Concrete Face Rockfill Dam), con una pantalla impermeabilizante de concreto armado.

Las ventajas de elegir este tipo de presa son diversas. Las canteras identificadas que poseen el volumen requerido están disponibles y se encuentran a menos de 1 km del sitio de emplazamiento. Este factor beneficia el costo de construcción de la presa y permite su ejecución en cualquier temporada del año, lo que facilita el proceso administrativo y el plazo de ejecución.

En términos estructurales, una presa de enrocado presenta diferencias favorables en comparación con una presa de tierra frente a fenómenos de riesgo. El cuerpo de la presa de enrocado es flexible y se adapta a la topografía del terreno. Esta flexibilidad permite una mejor respuesta a la fracturación de la roca y una redistribución más efectiva de los esfuerzos en caso de un sismo (Sherard & Cooke, 1987).

Una ventaja notable de este tipo de presa es que la membrana impermeable de hormigón armado puede ser completamente inspeccionada cuando se vacía la presa durante la operación, lo que permite realizar reparaciones cuando sea necesario.

## V. CONCLUSIONES

La presa Tullpacancha será de tipo CFRD (Concrete Face Rockfill Dam), por la favorable configuración topográfica del lugar de emplazamiento. Las condiciones geológicas que presenta son rocas sedimentarias, en superficie se presentan como rocas fracturadas por lo que se recomienda tratamiento geotécnico por medio de inyecciones de cemento, a mayor profundidad son más competentes.

Las canteras identificadas cumplen con las características requeridas para el uso que se les pretende dar, y son favorables por encontrarse cercanas al lugar del emplazamiento. Para una altura mayor de 40 metros son recomendadas las presas tipo CFRD, la presa Tullpacacha tiene proyectado alcanzar una altura de 63 metros en su construcción, por lo cual este tipo de presa es idónea respecto a la altura.

Los análisis preliminares de estabilidad de taludes para la presa propuesta, tanto aguas arriba como aguas abajo, en condiciones estáticas y pseudoestáticas, muestran valores estables de factores de seguridad.

## VI. REFERENCIAS

- Birhanu, D., & Tesfa, C. (2023). Geological and geotechnical characterization of Ziragn Dam sitting, northwestern Ethiopia. *Environmental and Sustainability Indicators*, 19, 100261. <https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2023.100261>
- Canadian Geotechnical Society. (2007). *Manual de la Sociedad Canadiense de Geotecnia*.

- Carrera, C. (2022). *Parametrización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Checras para el ordenamiento ambiental y el desarrollo físico territorial*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/18556>
- Cooke, J.B., and Sherard, J.L. (1987). *Concrete face rockfill dam: II Design*. *Journal of Geotechnical Engineering*, 113 (10): 1113–1133. <https://www.semanticscholar.org/paper/Concrete-Face-Rockfill-Dams%E2%80%94Design%2C-Construction%2C-Cooke-Sherard/3a1ec49c91200b0e993b0656e01206e22ce6ba3f>
- Emiroglu, M. (2008). Influences on Selection of the Type of Dam. *International Journal of Science & Technology*, 3(2), 173-189, 2008. [https://www.researchgate.net/publication/252573152\\_Influences\\_on\\_Selection\\_of\\_the\\_Type\\_of\\_Dam](https://www.researchgate.net/publication/252573152_Influences_on_Selection_of_the_Type_of_Dam)
- Esteban, J. (2022). *Crecimiento poblacional y cambio de uso de suelo y su impacto en los recursos hídricos en la cuenca del río Ica, provincia y departamento de Ica*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/18470?show=full>
- Fell, R., MacGregor, P. Stapledon, D., Bell, G. & Foster, M. (2015): *Geotechnical Engineering of Dams, CRC Press, 2nd Edition*, 1382p. <https://www.routledge.com/Geotechnical-Engineering-of-Dams/Fell-MacGregor-Stapledon-Bell-Foster/p/book/9781138749344>
- Martínez Ruiz, F. (2019). *El problema de la selección del tipo de presa en un proyecto: criterios y métodos de apoyo a la toma de decisiones*, Universidad Politécnica de Cartagena. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/8145>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). *La norma técnica E.030 "Diseño Sismorresistente"*, Lima – Perú. <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Noa, D. (2006). *Modelo de investigación hidrogeotécnica para embalses: Región Ayacucho-Subregión Huanta*. Tesis para optar el grado de magíster en Geotecnia. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/794>
- Sherard, J. L., & Cooke, J. B. (1987). Concrete-Face Rockfill Dam: I. *Assessment*. *Journal of Geotechnical Engineering*, 113, 1096–1112. <https://www.semanticscholar.org/paper/Concrete-Face-Rockfill-Dam%3A-I.-Assessment-Sherard-Cooke/0dc8400872e15a50d404c9fa6bb7483828288f0d>
- Sissakian, V. K., Adamo, N., & Al-Ansari, N. (2020). *The Role of Geological Investigations for Dam Siting: Mosul Dam a Case Study*. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10706-019-01150-2>
- Velásquez, F. (2020). *Modelo de simulación dinámica aplicado al aprovechamiento eficiente del embalse La Esperanza, Manabí - Ecuador*. Tesis para optar el grado de doctor en Ciencias Ambientales. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11569>

#### Contribución de autoría:

Conceptualización: Marioli Marced Casco Cacsire.; Curación de datos: Marioli Marced Casco Cacsire; Análisis formal: Marioli Marced Casco Cacsire; Adquisición de fondos: Marioli Marced Casco Cacsire; Investigación: Marioli Marced Casco Cacsire y Pablo Rubén Meza Aréstegui; Metodología: Marioli Marced Casco Cacsire y Pablo Rubén Meza Aréstegui; Administración del proyecto: Marioli Marced Casco Cacsire; Software: Marioli Marced Casco Cacsire y Pablo Rubén Meza Aréstegui; Recursos: Marioli Marced Casco Cacsire; Supervisión: Pablo Rubén Meza Aréstegui; Validación: Pablo Rubén Meza Aréstegui; Visualización: Pablo Rubén Meza Aréstegui; Redacción - borrador original: Marioli Marced Casco Cacsire y Pablo Rubén Meza Aréstegui; Redacción - revisión y edición: Marioli Marced Casco Cacsire y Pablo Rubén Meza Aréstegui.

#### Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.